

ペルー北部沿岸における 水温のモニタリング

— 局所的エルニーニョの実態把握をめざして —

小 林 雅 人

キーワード：ペルー北部沿岸，水温連続観測，エルニーニョ/ラニーニャ，
ENSO

要旨：

ペルー北部沿岸で発生する局所的エルニーニョの実態を把握することを目的として、2005年2月からペルー北部沿岸を中心に、温度センサー内蔵データロガーを14ヵ所に設置し、海水温を連続的にモニタリングしている。これまでにロガーの紛失や事故、設置場所の変更による欠測期間はあったものの、主要な8～9観測地点ではおおむね順調に水温の時系列データが取得できている。本論では、ペルー北部沿岸で発生した局所的エルニーニョについて得られた結果を紹介し、若干の考察を行ったので報告する。

2006年末から始まったペルー北部沿岸の水温上昇によるエルニーニョは、南東貿易風が弱まったために起こり、沖合のエルニーニョ監視海域の水温上昇よりも約4ヵ月遅れて起こっていた。このときの水温上昇は、北部のタララからシカマまでのごく限られた範囲でわずか3ヵ月足らずの期間であったことから、ペルー沿岸での局所的なエルニーニョであったと言える。また、2007年3月下旬からペルー北部沿岸で水温が急激に降下して起こったラニーニャは、南東貿易風の強まりによって引き起こされ、沖合の水温下降よりも数週間早く起こっていた。これはペルー北部沿岸に留まらず、地球的規模でのラニーニャ現象に発展した。

2009年11月下旬から始まったペルー北部沿岸におけるエルニーニョは、南東貿易風が弱まったことから起こり、沖合のエルニーニョ監視海域の水温上昇よりも5～6ヵ月遅れて起こっていた。その後、2010年1月上旬以降に水温が次第に降下してラニーニャに変わり、ペルー沿岸ではエルニーニョとして認識される暖水の滞留は数ヵ月しか持続しなかった。また、北部から中部へと暖水が黒潮と同程度の速さで移動していたことから、沖合からのケルビン波の伝播によるエルニーニョの発生とは考え難く、ペルー沿岸の局所的エルニーニョにはENSOでは説明できないメカニズムがあると考えられ、その解明が今後の課題となる。2010年2～3月以降のペルー沿岸におけるラニーニャは、SOIから示唆される南東貿易風の強まりよりも1～2ヵ月早く、沖合のエルニーニョ監視海域の水温下降よりも4～5ヵ月早く起こっていた。したがって、ペルー沿岸の局所的ラニーニャは、南東貿易風の強まりに比較的早く応答して水温が低下することで起こり、沖合へ波及し地球的規模のラニーニャ現象に発展して行くことがわかった。

1. はじめに

百年に一度とも言われる酷暑を経験した2010年の日本の夏とは正反対に、2009年の夏は曇りや雨の日が多く、日照時間が短かったために涼しい夏であった。その後、秋が過ぎて2009年末から2010年初めの冬になると、わが国では平年よりも暖かな日々を過ごすことができたが、一方で、米国東部では記録的な寒波が襲い大雪に見舞われた。Washington D.C.では、141cmという過去最高の積雪量を記録した大雪のために、2月8～10日にかけて3日間も政府機関が臨時休業するという異常事態が起こったことは記憶に新しい。^{(1)・(2)}このような異常気象をもたらした原因について、米国東部の大雪については北極圏の寒波が中緯度に流れ込む北極振動のためであり、日本の冷夏と暖冬に関してはエルニーニョ現象のためであると気象庁が発表している。⁽³⁾

エルニーニョ現象が自然現象である以上、人類はそれを回避することは

できないが、事前に予測して被害を最小限にとどめる工夫をする事はできる。近年、国際協力のもとに、予測技術の確立をめざした赤道海域における現場観測網の充実と理論研究の推進が精力的に行われており、地球規模で災害をもたらすエルニーニョ現象の発生メカニズムが次第に明らかになってきた。その一方、ペルー沿岸で漁業災害をもたらす局所的なエルニーニョの監視体制は未だ不十分のままである。

そこで、かつてペルーの漁師たちが言った、漁業災害としての本来のエルニーニョに立ち返り、ペルー沿岸の局所的なエルニーニョの実態を把握するためには、ペルー北部沿岸で水温を連続的にモニタリングする必要がある。本研究では、暖水が赤道海域からペルー沿岸を南下する局所的なエルニーニョに焦点を当て、この現象を高精度で検出するため、ペルー北部沿岸に集中的に温度センサー内蔵のデータロガーを設置し、2005年2月から水温を連続的にモニタリングしているので、その調査概要を報告する。

2. 研究の背景

ペルー沿岸域には南東貿易風が定常的に吹いている。この風のエクマン輸送によって海表面の海水が沖合へ運ばれ、それを補うために沿岸に湧昇流が起こる。この湧昇流によって下層から上昇する深層水は、水温は低いが栄養塩類を豊富に含んでいる。そのため、深層水が有光層まで達すると、植物プランクトンが豊富な栄養塩類を吸収して活発に増殖する。すると、高密度の植物プランクトンを餌にして動物プランクトンが増殖し、プランクトンフィーダーであるアンチョベータ（カタクチイワシ）などの小型浮魚類が集積することになる。こうして、湧昇域では生物の生産性が高まり、好漁場が形成されるのである。実際、ペルーは日本をも上回る世界でも有数の漁業国であり、1994年には世界の総漁業生産量（1億1846万トン）の

1割強を占める1200万トン（日本は817万トン）の漁業生産量を記録している。⁽⁴⁾ しかも、この漁業生産量のほとんどをアンチョベータの漁獲量が占めており、その傾向は近年とくに顕著で、1999年以降ではペルー国内漁業生産量の80～92%に達している（図1）。⁽⁵⁾

このように莫大な海洋生物資源をもたらしてくれる湧昇流が一時的に弱まることもある。しばしば12月頃になると、ペルー沿岸の南東貿易風が弱まり、沖合へ運ばれる表層水が少なくなって、湧昇流が弱まる。すると、湧き上がる深層水の豊富な栄養塩類に支えられていた植物プランクトンの増殖に歯止めがかかり、有機物の生産性が低下してしまう。この時に、赤道海域から貧栄養の暖水が南下してきてペルー沿岸域を覆い、沿岸域の水温が上昇し餌が不足することでアンチョベータが移動・分散してしまい、アンチョベータ漁は休漁期を迎える。この赤道海域からペルー沿岸に、つまり北のエクアドルから南のペルーに向かって岸に沿って沿岸域を南下する暖水の流れのことを、イエス・キリストの誕生日であるクリスマス頃に

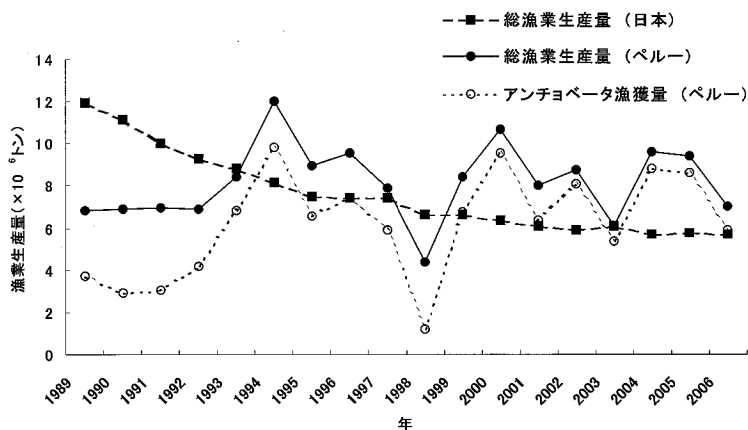


図1：日本およびペルーの総漁業生産量とペルーのアンチョベータ漁獲量の経年推移

やって来ることから Corriente del Niño（ニーニョの流れ、niñoとは子供を意味する男性名詞であるが定冠詞 el を付けて固有名詞として用いると幼いキリストを指す）と漁師たちは言った。⁽⁶⁾ 後に、Corriente が省略されて El Niño（エルニーニョ）となった。この暖水の流れは、アンチョペータの不漁と引き換えに暖海性のまぐろ類、カツオ、シイラなどの漁獲を、そして乾燥した大地を潤す雨という恵み（プレゼント）をもたらしたことからキリストと呼ばれた。これが、ペルーの漁師たちが言った、12月頃になるとしばしばやって来るエルニーニョであった。通常は、4月になると南東貿易風が再び強く吹くようになり、湧昇流が強まって、栄養塩類が深層から補給されると植物プランクトンが活発に増殖し、有機物の生産性が高まってアンチョペータ魚が再開される。

ところが、4月になっても南東貿易風の風力が復活しないことがある。湧昇流が強まることなく、有機物の生産性が回復しないためにアンチョペータの不漁が続く、長期にわたると餌不足でグアノ鳥と呼ばれるウミウ、カッシュクペリカン、カツオドリなどの海鳥が多量に餓死して沿岸域を汚染することがあり、時として豪雨による洪水も発生する。このような通常とは異なる現象、これを、ペルーの漁師たちが呼んでいたエルニーニョという言葉を使い、エルニーニョイベント（一般にエルニーニョ現象）と呼ぶようになった。毎年のように局所的に繰り返されるエルニーニョと、半年以上も持続し地球規模で異常気象が起こるエルニーニョ現象とは、本来、区別して使用されなければならないが、現在世界で一般に使われているエルニーニョは後者を指すようになった。⁽⁷⁾

近年の海洋気象観測技術の発達と観測網の充実に伴う研究の進展によって、エルニーニョはペルー沿岸域だけの局所的な現象ではなく、広く太平洋の西部にまでおよぶ大規模な大気海洋相互作用による現象であることが

明らかになり、その発生メカニズムが解きほぐされつつある。

赤道付近の太平洋東部（ペルー沿岸）では、定常的に南東貿易風が吹くために、エクマン輸送によって海表面の海水が西方へ運ばれて湧昇流が起こり、海面は冷水で覆われる。このため、暖水は太平洋西部（インドネシア沿岸）へ吹き寄せられ、海表面に厚い暖水層が形成される。この厚い暖水層からは盛んに水分が蒸発して上昇気流が起こり、低気圧となって雨を降らせる。これが平常年の太平洋赤道海域の状態である。この状態から、何らかの原因により南東貿易風が弱まると、太平洋西部に吹き寄せられていた暖水が東方へ移動する。この時、暖水からの上昇気流によって形成されている低気圧も太平洋中央部～東部へと移動し、それに伴い雨の降る海域も東方へ移るので、インドネシアでは極度に乾燥し、ペルーでは豪雨と洪水に見舞われることがある。また、南東貿易風が弱まるので湧昇流も弱まり、ペルー沿岸には赤道域から暖水が張り出してくる。これがエルニーニョ現象の起こっている状態である。一方、エルニーニョ現象とは正反対に、南東貿易風が平年よりも強まることがある。この時、ペルー沿岸では湧昇流が強くなり、冷水で覆われる海表面が広がる。それと同時に、西部太平洋のインドネシア沿岸には一層厚みを増した暖水が停滞して、水分を活発に蒸発させるために低気圧が豪雨を降らせる。この状態をラニーニャ（La Niña）現象と呼ぶ。niña とは子供の女性名詞で女の子を意味し、男の子（ニーニョ）の反対なら女の子（ニーニャ）だろうと、エルニーニョ現象の正反対の現象に対して米国の海洋物理学者 Philander が1985年にユーモアを交えて命名した。⁽⁸⁾

太平洋熱帯域における東西の海面水温の差は、上空の気圧差を生む。つまり、海面水温の高い西部では大気が活発に上昇して低圧部となり、上昇した大気の一部は東に向かい、海面水温の低い東部で下降して高圧部を形

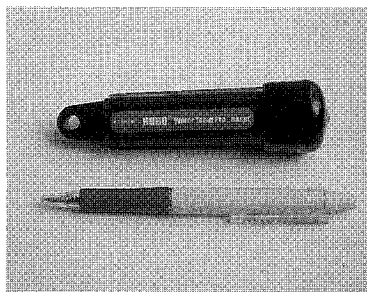
成する。このようにして形成された海面気圧の東西差が、西向きの貿易風を駆動している。したがって、海面気圧の東西差によって海表面では西向きの風が、また上空の高層では東向きの風が吹いており、太平洋にまたがる一つの大きな大気の循環（ウォーカー循環）が形成される。この大気のウォーカー循環は海面気圧の東西差によって形成されているが、海面気圧の東西差はウォーカー循環の一部である西向きの貿易風によって形成されている海面水温の東西差によって維持されている。すなわち、太平洋熱帯域の海洋と大気は互いに密接に関連し合い、大気海洋相互作用が生じている。

太平洋熱帯域における東西の気圧差は、エルニーニョ現象が太平洋規模で起こる現象であることが認められるかなり以前の、1923年に Walker によって発見された。⁽⁹⁾ これは、インドネシア付近の地域と南太平洋東部熱帯域との間で、一方で地上気圧が平年より高い時は他方で低いという気圧のシーソー現象として認識され、すでに知られていた北大西洋振動および北太平洋振動と区別して、南方振動（Southern Oscillation）と名づけられた。⁽¹⁰⁾ 南方振動の実態は、北オーストラリアのダーウィン（Darwin）と中部南太平洋のタヒチ（Tahiti）との気圧差の平年偏差が指標として用いられ、これを南方振動指数（SOI: Southern Oscillation Index）と呼ぶ。SOI は南太平洋熱帯域における地上気圧の東西差の変化を示し、南東貿易風の強弱に対応する。つまり、南方振動とエルニーニョ現象とは、大気と海洋が密接に結びついた同一の現象を、それぞれ大気側と海洋側の別々の側面から見たものであった。そこでこの現象を、現在ではエルニーニョ現象と南方振動とを区別せずに、両者の頭文字をとって ENSO（El Niño / Southern Oscillation）と呼ぶ。本論では、地球的規模のエルニーニョ現象を、ペルー沿岸の局所的なエルニーニョと区別して ENSO と呼ぶことにす

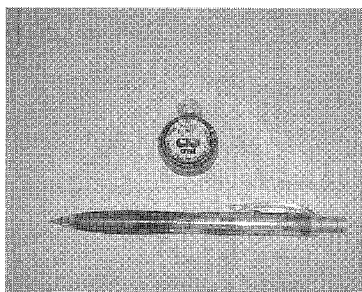
る。ENSOには約4年の周期があることが、太平洋赤道域の海面水温偏差と南方振動指数のスペクトル解析から認められている。⁽⁹⁾

3. 観測機材と測定機器の補正

水温の連続観測には、サーミスタ温度センサー内臓のデータロガーである Onset 社製 HOBO Water Temp Pro (H20-001, 30mm ϕ \times 115mm, 42g) 10本と Stow Away Tidbit (TBI32-05+37, 30 \times 40 \times 16mm, 18g) 10個を用いた(写真1)。精度は共に $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ である。現場観測に先立ち、観測では多数のロガーを同時に使用することから測定機器の補正を2005年1月23日に行った。まず、全ロガーの温度測定間隔を1分に設定し、10本ずつ小型恒温水槽(Yamato-KOMATSU, CTE32)に入れて、10.0, 15.0, 20.0, 25.0, および30.0 $^{\circ}\text{C}$ の5段階の温度に設定した水の中にそれぞれ30分以上放置した。一例として、HOBO Water Temp Pro によって測定された水温の値を図2に示す。次に、各ロガーによって測定された5段階水温のそれぞれの値から、設定水温に到達するまでの温度変化が反映されていない連続した30データ(30分間分)を用い、設定水温値を基準にして測定値を



(a) HOBO Water Temp Pro



(b) Stow Away Tidbit

写真1：水温の連続観測に用いたサーミスタ温度センサー内臓データロガー

補正するための線形回帰式を求めた。各ロガーの回帰直線の傾きと y 軸切片の値を表 1 に示す。なお、ロガー毎の測定値のばらつき（測定値－設定水温）は、HOBO Water Temp Pro を例にして示すと、 -0.084°C ～ $+0.217^{\circ}\text{C}$ の間と極めて小さく、水温が高くなるに従いばらつきが若干大きくなる傾向があり、全般に設定値よりも測定値の方が高かった（図 3）。

4. ペルー北部沿岸での水温モニタリング

ペルー共和国における沿岸水温の連続観測は2005年2月21日から行っている。首都リマ（Lima, 12.0°S , 77.0°W ）に隣接するカヤオ（Callao）からエクアドルとの国境の町であるトゥンベス（Tumbes, 3.5°S , 80.5°W ）までの約1300kmの区間に、観測地点を14ヵ所設定した。ペルーの海岸線は総じて直線的であることから、沖合の水温変動が岸まで容易に伝播すると考

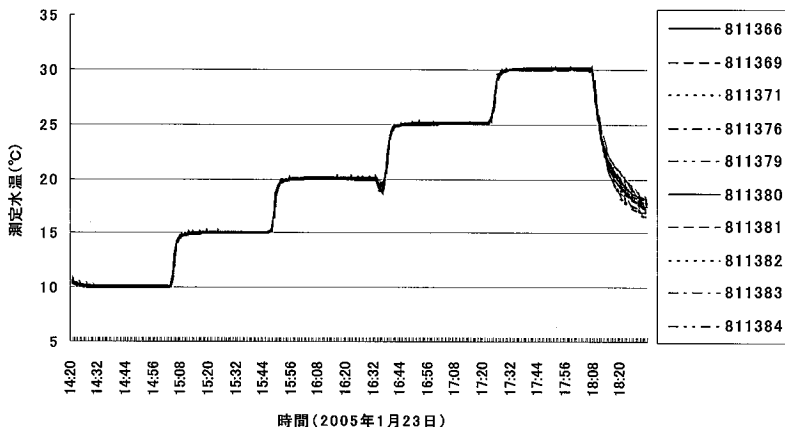


図 2：データロガー（HOBO Water Temp Pro）による小型恒温水槽内の水温測定値（10本のデータロガーを小型恒温水槽に入れ、 10°C ～ 30°C の間で 5.0°C 毎に5段階の温度に設定した水の中に30分以上放置し、1分毎に水温を測定した。凡例は、データロガーのシリアル番号を示す。）

表 1 : 測定値を補正するための各データロガーの回帰直線の傾きとy軸切片の値

(a) HOBO Water Temp Pro

ロガー番号	傾き	y 軸切片
811366	0.9992	-0.0920
811369	0.9982	-0.0831
811371	0.9990	-0.1217
811376	0.9981	-0.1031
811379	0.9984	0.0087
811380	0.9982	-0.0612
811381	0.9989	-0.0334
811382	0.9981	-0.1300
811383	0.9984	-0.0153
811384	0.9975	0.0366

(b) Stow Away Tidbit

ロガー番号	傾き	y 軸切片
815451	0.9938	0.0361
815452	0.9968	-0.0317
815453	0.9962	-0.0336
815458	0.9960	-0.0873
815461	1.0040	-0.1384
815463	0.9956	-0.0611
815467	0.9967	-0.0299
815468	0.9974	-0.0815
815472	0.9986	-0.0736
815473	0.9958	-0.0410

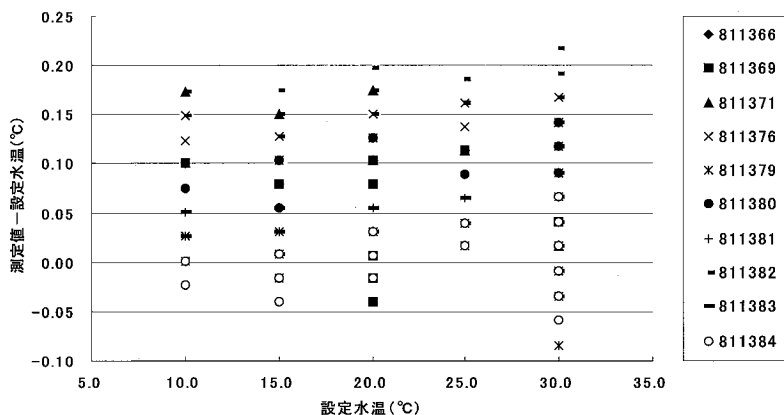


図 3 : データロガー (HOBO Water Temp Pro) の測定値のばらつき
(測定値 - 設定水温) (凡例は, データロガーのシリアル番号を示す.)

えられる。そのため、観測地の岸から30m～50m突き出している栈橋の先端付近の海底近くにロガーを設置しても、沖合の水温変動をモニターできると判断した。そこで、各地の栈橋の先端付近を観測地点とし、先端橋脚の海底から1 m程度上に、ダイバーが潜水してロガーを固定した（設置深度は2～5 m）。図4に観測地点の位置を示す。観測地点間の距離は、カヤオからセチューラ（Sechura）までは100km以上離れているが、セチューラ～トゥンベス間の約250kmの区間には観測地点を8ヵ所設け、観測地点間の距離を20～50kmとした。このように北部沿岸に高密度で観測地点を配置した理由は、北の赤道海域からの暖水の張り出しを高精度でモニタリングするためであったが、漁船の船着場である栈橋が北部に多いこともロガーの設置を可能にさせた。

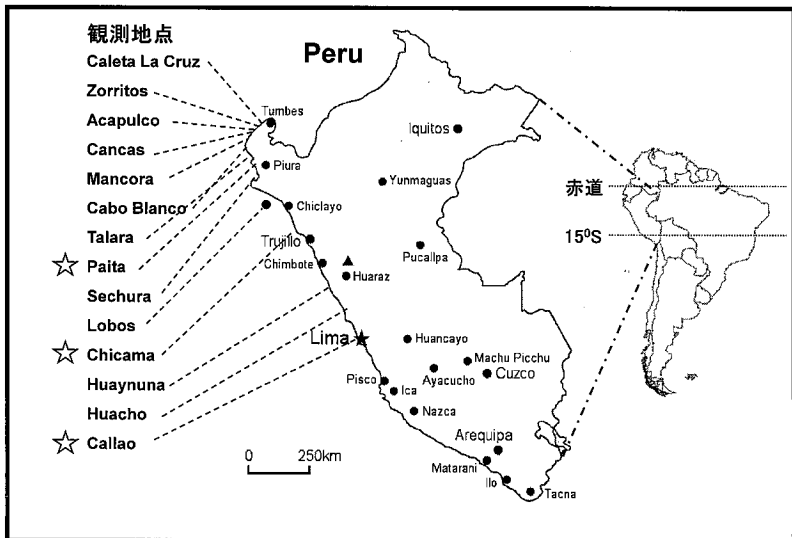


図4：ペルー北部沿岸における水温の連続観測地点の位置
（☆印の3地点における水温変動を図5，6，8，9に示す。）

水温データのロガーへの記録間隔は任意に設定できるが、ロガーを放置する期間が長ければ長いほど、故障あるいは付着生物による被覆化で紛失する危険性が増すことになる。そこで、半年毎にロガーを回収して水温データを取得することとし、ロガーの記憶容量から計算してデータの記録間隔を15分とした。このため、2005年以降、毎年2～3月と8～9月の2度調査に行き、ロガーの回収と再設置を行っている。なお、時間設定はペルー標準時（GMT-5時間）である。

表2に観測地点別に水温データの取得状況を示す。これまでにロガーの紛失や事故、設置場所の変更による欠測期間はあったものの、主要な観測地点ではおおむね順調に水温の時系列データが取得できている。ただペルー北部では、漁船からの漁獲物の水揚げで賑わう栈橋は人々の出入りも多いために、当初は予期していなかったロガーの盗難（実際に、持ち去った人を見つけ出してロガーを買い戻した例がある）などによる紛失も多く、観測を断念した地点が数ヵ所ある。こうした5年にわたる試行錯誤の末、現在の8～9ヵ所の観測地点ではロガーを海中で保持するための人的ネットワークも構築できて、ようやく広域にわたる水温の連続モニタリングが軌道に乗り始めている。なお、2007年後半～2008年には、ロガーのバッテリー切れによるトラブルが多発したためにデータが取得できなかった観測地点が多かった。また、これまでに紛失したロガーは9本を数えた。

5. 観測結果と考察

ペルー（0°～18°S，69°W～81°W）の沿岸は太平洋熱帯域に位置しているが、定常的に吹く南東貿易風による湧昇流のために、平常時の海面水温は夏でも30℃を越えることはない。また、富栄養な深層水が沿岸域を覆っているので、水色は黄緑色に近く、熱帯海域に見られるようなコバルトブ

ルーからは遠くかけ離れている。しかし、富栄養であるがために有機物の生産性が高く、莫大な量の魚類等が漁獲されるばかりか、ヒトよりもはるかに多い海鳥を養う豊かな海である。ペルーの漁業生産量が極めて高いことと、グアノと呼ばれる海鳥の糞が肥料として輸出されていることから、ペルー沿岸域の有機物生産力の大きさをうかがい知ることができる。

本章では、これまでのペルー北部沿岸域における水温モニタリングを振り返り、エルニーニョが発生したために明確な水温上昇が記録された2例について結果の概要を報告し、若干の考察を行う。

(1) 2006年～07年のエルニーニョ/ラニーニャ

2006年～07年には、エクアドルに近い北部では目立った水温の上昇はみられなかったが、タララ (Talara) よりも南では2006年12月下旬以降に水温が上昇していた。ここでは、北部の代表観測地点としてパイタ (Paita) における水温の上昇の様子を図5 (a) に示す。パイタでは、2006年12月末から水温が18℃台から22℃台へと約4℃上昇し、3月下旬以降に18℃台に戻った。また、ペルーでは古くからエルニーニョ発生の有無をシカマ (Chicama) の水温で判断しているという。シカマでは2007年1月初旬から水温が16℃台から20℃台へと約3℃上昇していた (図5 (b))。しかし、3月下旬には水温が急激に下がり16℃台に戻った。一方、ペルー中部のカヤオでは、10月から3月に15℃台から18℃台へと次第に水温は上昇していたが、季節変動の範囲内の昇温現象であり、タララからシカマまでの海域に見られるような急激な水温上昇は認められなかった (図6 (a))。したがって、2006年末から2007年初めのエルニーニョはタララからシカマまでの限られた範囲での水温上昇で、しかも3ヵ月足らずの短期的なものであった。⁽¹¹⁾

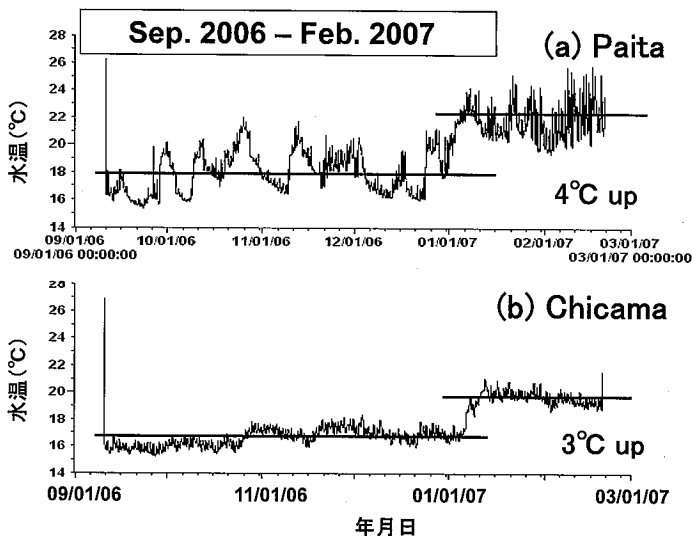


図 5：2006年9月～2007年2月における(a)パイタと(b)シカマの水温の時系列変動

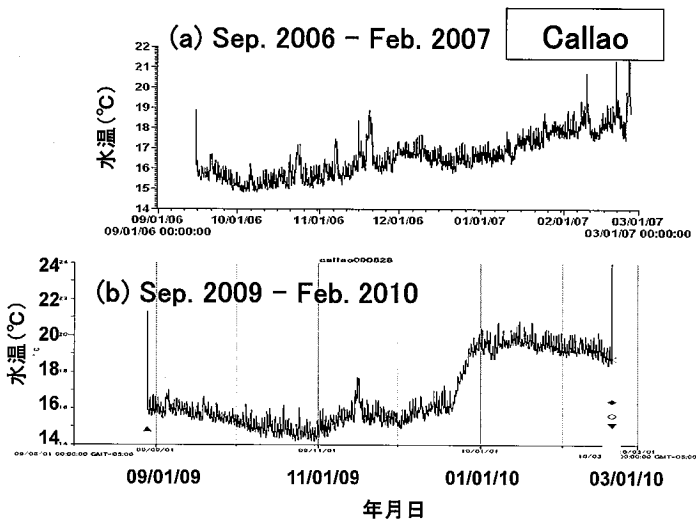


図 6：カヤオにおける水溫の時系列変動
(a：2006年9月～2007年2月，b：2009年9月～2010年2月)

このペルー北部沿岸での水温上昇が沖合の海況とどのように関連していたかを、気象庁によるデータを参考にして考察する。気象庁では、ENSO 発生の有無をエルニーニョ監視海域（ $5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$ ， $150^{\circ}\text{W}\sim 90^{\circ}\text{W}$ ）における海面水温偏差の月平均値の5ヵ月移動平均値で判断し、この値が $+0.5^{\circ}\text{C}$ 以上になって6ヵ月以上続いた場合をエルニーニョ現象、 -0.5°C 以下になって6ヵ月以上続いた場合をラニーニャ現象と定義している。⁽¹²⁾ 2006年9月～2007年1月に同指数が $+0.5^{\circ}\text{C}$ 以上になったが、⁽¹³⁾ 継続期間が5ヵ月だったのでエルニーニョ現象が発生したとは認められなかった。その後、2007年4月には同指数が -0.5°C 以下になり、2008年4月まで13ヵ月間継続したので、ラニーニャ現象が起こったと認定された。⁽¹⁴⁾ この時期の南方振動指数（SOI）は、2006年5月～10月と同年12月～2007年2月に負の値（タヒチの気圧よりもダーウィンの気圧の方が高いこと）を示し（図7）、南東貿易風が弱かったことを示唆している。⁽¹⁵⁾ つまり、SOI

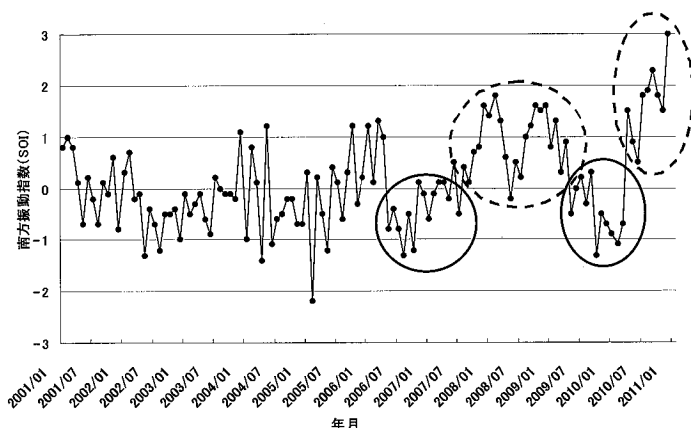


図7：2001年1月～2010年12月における南方振動指数（SOI）の月別時系列変動⁽¹⁵⁾（実線で囲まれた期間は南東貿易風が弱く、破線で囲まれた期間は南東貿易風が強いことを示している。）

は、ペルー沿岸の湧昇流が弱まり、北部沿岸に赤道海域から暖水が張り出す可能性があったことを支持している。また、2007年3月から SOI は正の値に転じて2009年4月まで継続しており（図7）、この時期に南東貿易風が強まったことを示し、ラニーニャの発生を示唆している。

これらの結果から、2006年末から始まったペルー北部沿岸における水温の急激な上昇（エルニーニョ）は、SOI から南東貿易風が弱まったためであると判断でき、沖合のエルニーニョ監視海域の水温上昇よりも約4ヵ月遅れて起こっていたことがわかった。また、2007年3月下旬からペルー北部沿岸で水温が急激に低下してラニーニャが起こったことは、SOI から示唆される南東貿易風の強まりからも支持され、沖合のエルニーニョ監視海域の水温下降よりも数週間早く起こっていた。⁽¹¹⁾

ENSO の発生メカニズムとして、エルニーニョ現象はケルビン波が南太平洋西部から東部へと伝播することで発生すると考えられており、⁽⁹⁾ 2006年の沖合から沿岸への水温上昇の時間差は容認できる。しかし、ペルー沿岸域の水温上昇は、北部のタララからシカマまでのごく限られた範囲であったこと、また水温上昇はわずか3ヵ月足らずの期間であったことから、南東貿易風の弱まりによって生じたことは間違いないが、沖合からのケルビン波の伝播だけによるものとは判断し難い。つまり、ペルー沿岸での局所的なエルニーニョであったと考えられる。

ただし、東向きの赤道潜流（クロムウェル海流）がペルー沿岸に暖水をもたらした可能性もある。TAO Array 計画により赤道海域に広域に展開されている係留ブイから得られた流速データによると、赤道直下の147°Eから110°Wにわたりクロムウェル海流の深度は190m～270mから70m～100mへと次第に浅くなる傾向がある。2006年4月には110°Wの50m深で150cm/sec以上の強い東向きの流れが観測され、Kobayashi and Icochea

(2008) は2006年末にこの暖かい海流がペルー沿岸に到達したのではない
かという仮説を提唱している。⁽¹⁶⁾

また、2007年3月下旬から発生したラニーニャは、南東貿易風が強まっ
たことに応答して起こり、沿岸の水温下降が沖合にすぐに反映されたこと
から、地球的規模でのラニーニャ現象 (ENSO) であったものと考えられ
る。実際に2007年の夏 (7月を除く5月~10月) は、日本各地の気温が平
年値よりも1℃~2℃以上高い猛暑であった。⁽¹⁷⁾

(2) 2009年~10年のエルニーニョ/ラニーニャ

ペルー北部では2009年11月下旬から水温が上昇し始めた。北部を代表す
る観測地点のパイタにおける水温変動を図8(a)に示す。パイタでは、12
月1日から10日にかけて水温が16℃台から22℃台へと約6℃上昇し、変動
を除いても5℃は上昇した。また、古くからエルニーニョの有無を判断す
るシカマでは12月10日から21日にかけて水温が16℃から22℃へと、パイタ
同様に6℃上昇し、変動を除いても4℃上昇していた (図8(b))。中部
のカヤオでも12月21日から1月1日にかけて16℃から約20℃へと約4℃上
昇した (図6(b))。このように、高温水は北部のパイタから中部のカヤ
オまでの約1000kmを約20日間で移動していたので、移動速度は約
50km/day (約58cm/sec) と見積もられ、黒潮の流速と同程度の速さで北
から南へと暖水が移動したことが明らかになった。一旦急激に上昇した水
温は、1月上旬以降次第に低下している (図9)。⁽¹⁸⁾

エルニーニョ監視速報 (気象庁) によると、2009年6月からエルニーニ
ョ現象が始まったが2010年3月には終息し、⁽¹⁹⁾ その後2010年7月からラ
ニーニャ現象が発生して2011年の春には終息に向うと伝えている。⁽²⁰⁾ こ
のENSOによる日本各地の気温への影響は、エルニーニョ現象により2009

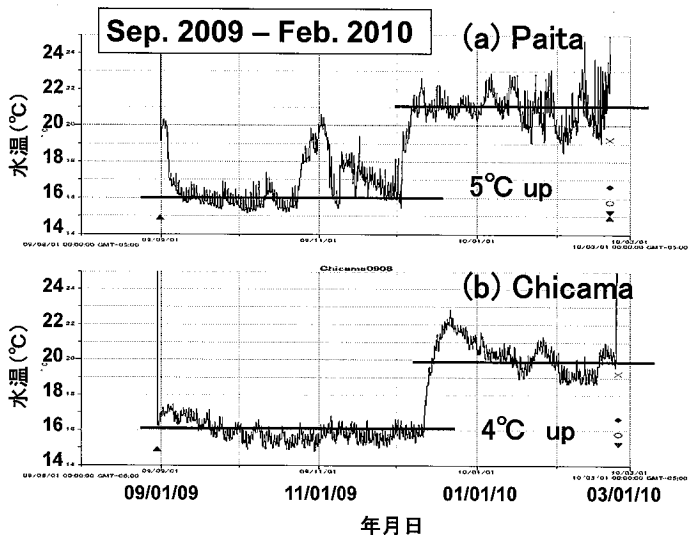


図 8：2009年9月～2010年2月における(a)パイタと(b)シカマの水温の時系列変動

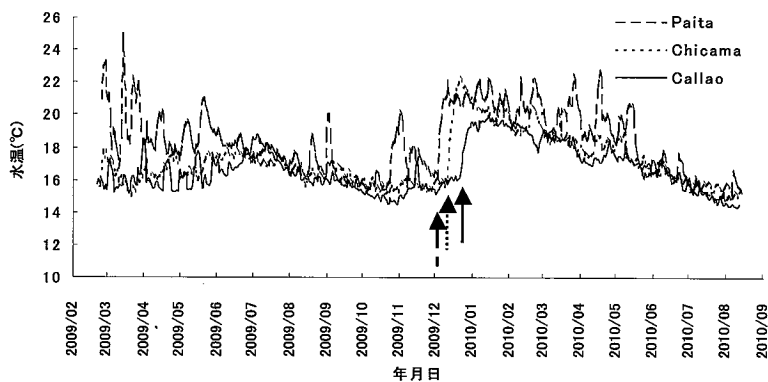


図 9：2009年2月～2010年8月におけるパイタ、シカマおよびカヤオの水温の時系列変動（潮汐変動を取り除いた25時間平均値をプロット，矢印は各観測地点で昇温が始まった時期をそれぞれ示す。）

年8月～9月は平年値よりも1℃～2℃低い冷夏を記録し、2009年10月～2010年3月には0℃～3℃高い暖冬であった。一方、2010年6月～10月はラニーニャ現象によって気温が平年値よりも1℃～2℃高い猛暑となった。⁽¹⁷⁾

ペルー北部では、2009年8月に行った調査では水温の上昇は観測されなかったが、海岸に多数の海鳥の死骸が打ち上げられていたことから、沖合で大規模なエルニーニョ現象が発生していることが予測できた。また、2009年はペルー南部沖で漁獲されるアンチョベータの漁獲量も例年に比べてかなり減少していた。⁽¹⁸⁾

この期間における南東貿易風の強弱を図7に示すSOIから推測すると、SOIは2009年5月から負の値に転じ、同年7月および9月には正の小さな値を示すが、2010年3月まで負の値が続き、南東貿易風が弱くなっていたことを示唆している。その後、2010年4月からは正の値に転じ、2010年12月までかなり大きな正の値が続いており、南東貿易風が強まったことを示唆している。

これらの結果から、2009年11月下旬から始まったペルー北部沿岸におけるエルニーニョは、SOIから南東貿易風が弱まったためであると判断され、沖合のエルニーニョ監視海域の水温上昇よりも5～6ヵ月遅れて起こっていたことがわかった。しかも、2010年1月上旬以降に水温が次第に低下してラニーニャに変わり、パイタでは5月まで間欠的に暖水が流入していたが(図9)、パイタよりも南の沿岸ではエルニーニョとして認識される暖水の滞留は数ヵ月しか持続しなかった。ペルー沿岸におけるラニーニャは、SOIから示唆される南東貿易風の強まりよりも1～2ヵ月早く、沖合のエルニーニョ監視海域の水温下降よりも4～5ヵ月早く起こっていた。

ペルー北部沿岸で2009年11月下旬から始まったエルニーニョの発生メカ

ニズムについて考察すると、このときのエルニーニョは一概にケルビン波の伝播によって引き起こされたとは考え難い。沖合のエルニーニョ監視海域の水温上昇から5～6ヵ月遅れてペルー北部（例えばパイタ）で水温が上昇したことはケルビン波の伝播と考えられるが、パイタからカヤオまで暖水が黒潮と同程度の速さで移動していたことは、沖合から暖水がケルビン波として直接ペルー沿岸に伝播していないことを示している。つまり、ペルー沿岸には北から南へと流れる暖水が明らかに存在し（かつてペルーの漁師たちが呼んでいた「ニーニョの流れ」と考えられる）、その流れを発生させる一つの要因が沖合からのケルビン波の伝播か、あるいはクロムウェル海流の強化なのかもしれない。したがって、ペルー沿岸の局所的エルニーニョには ENSO だけでは説明できないメカニズムがあり、今後のデータの蓄積を待ってその解明に取り組んで行きたい。なお、ペルー沿岸の局所的ラニーニャは、南東貿易風の強まりに比較的早く応答して水温が低下することで起こり、沖合へ波及し地球的規模のラニーニャ現象に発展して行くことがわかった。

本研究は、ペルー国立 La Molina 農科大学水産学部教授の Luis A. Icochea 博士との共同研究であり、現地では同博士の紹介でペルー海軍水路部（Devicion de Hidrografia y Navegacion）やペルー海洋研究所（IMARPE: Instituto del Mar del Peru）などに所属する多くの方々にも協力頂いた。ここに記して感謝申し上げる。また本研究は、横浜商科大学学術研究会による研究助成（2005年度）により行われた調査結果の一部であることを付記する。

参考文献・資料

- (1) 財経新聞社 (2010): 「米国東部で大雪, 政府機関・臨時休業, NYでも大雪警報」, 財経新聞ホームページ (<http://www.zaikei.co.jp/article/biznews/100209/43894.html>), 2010年2月9日.
- (2) 朝日新聞社 (2010): 『大雪の原因, 北極発の寒波「30年に一度の異常気象」』, asahi.com (<http://www.asahi.com/eco/TKY201003140309.html?ref=recc>), 2010年3月18日.
- (3) 気象庁 (2010): 「今冬の天候へのエルニーニョ現象の影響」, エルニーニョ監視速報No.210参考資料, 気象庁ホームページ (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/elnino/houdou/pdf/sankou201003.pdf>), 2010年3月10日.
- (4) 農林水産省経済局統計情報部編 (1997): 「世界の漁業生産統計」, 『平成8年漁業・養殖業生産統計年報』, (財)農林統計協会, 295-298頁.
- (5) 農林水産省大臣官房統計部編 (2010): 「世界の漁業生産統計」, 『平成19年漁業・養殖業生産統計年報』, (財)農林統計協会, 214-217頁.
- (6) 奈須敬二 (1990): 「解説: エル・ニーニョとラ・ニーニャ現象」, 水産海洋研究, 第54巻, 第1号, 105-108頁.
- (7) 小林雅人 (1999): 「エル・ニーニョとは?—発生メカニズムと社会への影響—」, 『人と地球環境との調和—持続的社會システムの構築を目指して—』, 横浜商科大学公開講座15, 南窓社, 130-145頁.
- (8) 気象庁編 (1995): 『異常気象レポート'94 近年における世界の異常気象と気候変動 ～その実証と見通し～ (V)』, 大蔵省印刷局, 444頁.
- (9) ニーリン D. ラティフ M. (木本昌秀訳) (2003): 「エルニーニョの力学」, 『地球大循環とエルニーニョ』, 丸善, 41-56頁.
- (10) 佐伯理郎 (2006): 『エルニーニョ現象を学ぶ』, 成山堂書店, 159頁.
- (11) 小林雅人・Luis A. Icochea (2007): ベルー北部沿岸における水温の連続観測 —エルニーニョ06/07～ラニーニャ07速報—, 水産海洋学会2007年度研究発表大会講演要旨集, 31頁.
- (12) 気象庁 (2011): 「監視指数」, 気象庁ホームページ (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/index/dattab.html>).
- (13) 気象庁 (2007): エルニーニョ監視速報 (No.176), 気象庁ホームページ (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/elnino/houdou/pdf/elnino200705.pdf>), 2007年5月10日.
- (14) 気象庁 (2008): エルニーニョ監視速報 (No.191), 気象庁ホームページ (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/elnino/houdou/pdf/elnino200808.pdf>), 2008年8月11日.
- (15) 気象庁 (2011): 「南方振動指数」, 気象庁ホームページ (<http://www>).

- data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/index/soi.html).
- (16) Kobayashi Masato and Luis A. Icochea (2008) : El Niño / La Niña events 2006-07 observed in the northern coast of Peru. Résumés des communications orales et des posters, Colloque franco-japonais d'Océanographie 2008 Le changement global: interactions homme-milieux marins, Marseille, p.39.
 - (17) 気象庁 (2011) : 気象統計情報, 過去の気象データ検索, 毎月の分布図 (気温), 気象庁ホームページ (http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/mdrr/mrep/mrep_j_3.htm).
 - (18) 小林雅人・Luis A. Icochea (2010) : El Niño 2009 ―ペルー北部沿岸の水温観測で明らかになったこと―, 水産海洋学会2010年度研究発表大会講演要旨集, 98頁.
 - (19) 気象庁 (2010) : エルニーニョ監視速報 (No.213), 気象庁ホームページ (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/elnino/houdou/pdf/elnino201006.pdf>), 2010年6月10日.
 - (20) 気象庁 (2011) : エルニーニョ監視速報 (No.220), 気象庁ホームページ (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/elnino/houdou/pdf/elnino201101.pdf>), 2011年1月11日.